

---

<b>RESÚMENES</b> .....	1
<b>PREFACIO</b> .....	7
<b>NOTACIÓN</b> .....	11
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	19
<b>1. INDUSTRIA TEXTIL</b> .....	21
1.1. Principales procesos de la industria textil.....	21
1.2. Impacto medioambiental.....	25
1.3. Tratamiento de los efluentes textiles .....	33
<b>2. TECNOLOGÍAS DE MEMBRANA</b> .....	37
2.1. Introducción a los procesos de membrana.....	37
2.2. Clasificación de los procesos de membrana .....	39
2.3. Materiales .....	43
2.4. Estructura.....	46
2.5. Configuraciones.....	47
2.6. Parámetros que definen el comportamiento de la membrana	49
2.7. Caracterización de las membranas .....	51
2.7.1. <i>Potencial zeta</i> .....	51
2.7.2. <i>Técnicas de microscopía</i> .....	53
2.8. Fenómenos que producen descenso del flux.....	54
2.8.1. <i>Polarización por concentración</i> .....	56
2.8.2. <i>Fenómenos de ensuciamiento</i> .....	58
2.9. Modelización del flux .....	61
2.10. Limpieza de las membranas.....	65
2.10.1. <i>Limpieza química</i> .....	66
2.10.2. <i>Limpieza física. Ultrasonidos</i> .....	70
2.10.3. <i>Evaluación de la efectividad de limpieza</i> .....	71
<b>3. APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE MEMBRANA EN LA</b>	
<b>INDUSTRIA TEXTIL</b> .....	72

4. JUSTIFICACIÓN .....	79
5. BIBLIOGRAFÍA .....	81
<b>CAPÍTULO II. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO.....</b>	<b>89</b>
1. OBJETIVOS .....	91
1.1. Objetivo general.....	91
1.2. Objetivos específicos.....	91
2. PLAN DE TRABAJO.....	93
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>97</b>
1. PLANTAS PILOTO .....	99
1.1. Planta piloto de ultrafiltración 1 .....	100
1.2. Planta piloto de ultrafiltración 2 .....	104
1.3. Planta piloto de ultrafiltración 3 .....	108
1.4. Planta piloto de nanofiltración.....	113
2. MEMBRANAS DE ULTRAFILTRACIÓN/NANOFILTRACIÓN.....	115
3. OTROS EQUIPOS.....	118
3.1. Equipo de ultrasonidos.....	119
3.2. Equipo de medida del potencial zeta .....	120
3.3. Microscopio de fuerza atómica (AFM) .....	124
3.4. Microscopio electrónico de barrido (FESEM) .....	126
4. REACTIVOS QUÍMICOS.....	127
4.1. Reactivos de acondicionamiento y limpieza .....	127
4.2. Reactivos para la preparación de las disoluciones alimento... 128	
4.2.1. <i>Colorante C.I. Reactive Black 5</i> .....	128
4.2.2. <i>Cloruro sódico</i> .....	130
4.2.3. <i>Carboximetilcelulosa sódica</i> .....	130
4.2.4. <i>Almidón</i> .....	132
4.2.5. <i>Hidróxido sódico</i> .....	133
4.3. Otros reactivos químicos.....	133

---

4.4.	Agua desionizada .....	134
<b>5.</b>	<b>MÉTODOS ANALÍTICOS .....</b>	<b>135</b>
5.1.	pH.....	136
5.2.	Conductividad .....	136
5.3.	Temperatura .....	137
5.4.	Demanda química de oxígeno.....	137
5.5.	Turbidez .....	139
5.6.	Sólidos en suspensión .....	140
5.7.	Materia sedimentable.....	141
5.8.	Concentración de colorante y color real.....	142
<b>6.</b>	<b>COMPOSICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ALIMENTO .....</b>	<b>147</b>
6.1.	Efluente textil sintético .....	147
6.2.	Efluente textil real.....	150
<b>7.</b>	<b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>151</b>
7.1.	Acondicionamiento inicial de la membrana.....	152
7.2.	Ensayos de permeabilidad al agua desionizada.....	153
7.3.	Ensayos de filtración con membranas .....	155
7.3.1.	<i>Ultrafiltración</i> .....	156
7.3.2.	<i>Nanofiltración</i> .....	165
7.4.	Protocolo de limpieza .....	167
7.5.	Determinación de parámetros tras la filtración.....	169
7.5.1.	<i>Flux promedio de permeado</i> .....	169
7.5.2.	<i>Coefficiente de descenso de flux</i> .....	170
7.5.3.	<i>Reducción total del flux de permeado</i> .....	170
7.5.4.	<i>Reducción de la permeabilidad</i> .....	171
7.5.5.	<i>Determinación de resistencias</i> .....	171
7.6.	Otros ensayos.....	174
7.6.1.	<i>Limpieza con ultrasonidos</i> .....	174
7.6.2.	<i>Determinación del potencial zeta de la membrana</i> .....	183
7.6.3.	<i>Ensayos de influencia del pH sobre el rechazo del colorante</i> ... 186	

7.6.4.	<i>Ensayo de ultrafiltración de larga duración</i> .....	187
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	188
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS. ENSAYOS DE ULTRAFILTRACIÓN</b> .....		193
<b>1.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LAS MEMBRANAS DE UF</b> .....	195
<b>2.</b>	<b>INFLUENCIA DE DISTINTOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DURANTE LA UF DE EFLUENTES SINTÉTICOS CON RB5</b> .....	197
2.1.	Efecto de los parámetros de operación sobre $J_p$ .....	198
2.2.	Efecto de los parámetros de operación sobre el rechazo de RB5 .....	213
2.3.	Análisis de resistencias.....	223
2.4.	Estudio estadístico para la optimización de las condiciones de operación.....	228
<b>3.</b>	<b>ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN DE LOS EFLUENTES SINTÉTICOS</b> .....	245
3.1.	Ultrafiltración de efluentes sintéticos con RB5 y NaCl.....	245
3.1.1.	<i>Efecto de la PTM y la concentración de NaCl sobre <math>J_p</math></i> ....	245
3.1.2.	<i>Efecto de la PTM y la concentración de NaCl sobre el rechazo de solutos</i> .....	251
3.1.3.	<i>Análisis de resistencias</i> .....	258
3.2.	UF de efluentes sintéticos con CMC.....	262
3.2.1.	<i>Efecto de la PTM y la concentración de CMC sobre <math>J_p</math></i> ....	262
3.2.2.	<i>Efecto de la PTM y la concentración sobre el rechazo de materia orgánica</i> .....	266
3.2.3.	<i>Análisis de resistencias</i> .....	268
3.3.	UF de efluentes sintéticos con RB5 y CMC.....	269
3.3.1.	<i>Efecto de la PTM y la concentración de CMC sobre <math>J_p</math></i> ....	270
3.3.2.	<i>Efecto de la PTM y la concentración de CMC sobre el rechazo de solutos</i> .....	278
3.3.3.	<i>Análisis de resistencias</i> .....	283
3.4.	UF de efluentes sintéticos con RB5, CMC y NaCl .....	286
3.4.1.	<i>Efecto de la PTM y la concentración de NaCl sobre <math>J_p</math></i> ....	286

---

3.4.2.	<i>Efecto de la PTM y la concentración de NaCl sobre el rechazo de solutos.....</i>	290
3.4.3.	<i>Análisis de resistencias.....</i>	295
3.5.	UF de efluente sintético con almidón.....	297
3.5.1.	<i>Efecto de la PTM sobre Jp.....</i>	297
3.5.2.	<i>Efecto de la PTM sobre el rechazo de materia orgánica.....</i>	303
3.5.3.	<i>Análisis de resistencias.....</i>	304
3.6.	UF de efluente sintético con RB5, NaCl, CMC y almidón.....	305
3.6.1.	<i>Efecto de la PTM sobre Jp.....</i>	305
3.6.2.	<i>Efecto de la PTM sobre el rechazo de solutos.....</i>	308
3.6.3.	<i>Análisis de resistencias.....</i>	309
<b>4.</b>	<b>ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE OTROS PARÁMETROS DE OPERACIÓN.....</b>	<b>311</b>
4.1.	Influencia de la temperatura.....	311
4.1.1.	<i>Efecto sobre Jp.....</i>	311
4.1.2.	<i>Efecto sobre el rechazo de solutos.....</i>	314
4.1.3.	<i>Análisis de resistencias.....</i>	316
4.2.	Influencia del pH.....	318
4.2.1.	<i>Efecto sobre Jp.....</i>	318
4.2.2.	<i>Efecto sobre el rechazo de solutos.....</i>	320
4.2.3.	<i>Análisis de resistencias.....</i>	323
<b>5.</b>	<b>ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL MWCO.....</b>	<b>324</b>
5.1.	Ensayos con membrana de 50 kDa.....	325
5.2.	Ensayos con membrana de 1 kDa.....	335
5.3.	Ensayos con membranas de 1, 15, 50 y 150 kDa.....	344
<b>6.</b>	<b>UF DE EFLUENTE TEXTIL REAL.....</b>	<b>353</b>
<b>7.</b>	<b>MODELIZACIÓN DEL FLUX DE PERMEADO.....</b>	<b>363</b>
7.1.	Efluente sintético.....	364
7.2.	Efluente textil real.....	371
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>376</b>

<b>CAPÍTULO V. RESULTADOS. ENSAYOS DE NANOFILTRACIÓN</b> .....	383
<b>1. CARACTERIZACIÓN DE LAS MEMBRANAS DE NF</b> .....	386
<b>2. ENSAYOS DE NF CON LA MEMBRANA INOPOR 450®</b> .....	387
2.1. Influencia de la composición del alimento sobre Jp.....	387
2.2. Influencia de la composición del alimento sobre el rechazo de solutos.....	393
2.3. Análisis de resistencias.....	398
<b>3. ENSAYOS DE NF CON LA MEMBRANA INOPOR 600®</b> .....	399
3.1. Influencia de la composición del alimento sobre Jp.....	399
3.2. Influencia de la composición del alimento sobre el rechazo de solutos.....	402
3.3. Análisis de resistencias.....	405
<b>4. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	407
<b>CAPÍTULO VI. RESULTADOS. LIMPIEZA DE LAS MEMBRANAS</b> .....	411
<b>1. EVALUACIÓN DEL PROTOCOLO DE LIMPIEZA</b> .....	413
1.1. Fase de ensuciamiento y ensayos de permeabilidad .....	415
1.2. Análisis FESEM.....	421
1.3. Análisis AFM .....	432
<b>2. LIMPIEZA CON ULTRASONIDOS</b> .....	437
2.1. Evaluación de la potencia de los ultrasonidos .....	437
2.2. Efecto de los ultrasonidos en las propiedades de la membrana .....	438
2.3. Ensuciamiento de la membrana.....	440
2.4. Evaluación de la frecuencia de US.....	442
2.5. Influencia de las condiciones de operación de limpieza .....	448
2.6. Comparación con limpieza química.....	460
<b>3. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	462

<b>CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>467</b>
<b>CAPÍTULO VIII. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>483</b>
<b>ANEXO I. CONTRIBUCIONES .....</b>	<b>487</b>
<b>ANEXO II. LÍMITES DE VERTIDO .....</b>	<b>497</b>